

BUNDEREPUBLIK DEUTSCHLAND

23 FEB 2005



REC'D 23 FEB 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

102 49 492.4 ✓

Anmeldetag:

24. Oktober 2002 ✓

Anmelder/Inhaber:

Micronas GmbH, 79108 Freiburg/DE

Bezeichnung:Verfahren und Schaltung zur Erzeugung eines
Hilfssymbols zum Einregeln eines QAM-
Demodulators**IPC:**

H 04 L 27/38

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 28. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hintermeier

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Verfahren und Schaltung zur Erzeugung eines Hilfssymbols zum Einregeln eines QAM-Demodulators

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erzeugung eines Hilfssymbols, das
5 beim Empfang von digitalen, mit einem Quadratursignalpaar gekoppelten Signalen dem schnelleren
Einrasten von entscheidungsrückgekoppelten Regelschleifen dient. Derartige Regelschleifen finden
sich beispielsweise bei der Einstellung von Abastzeitpunkten, bei der Einstellung eines Entzerrers,
der lineare Verzerrungen beim Empfang des Quadratursignalpaares beseitigt, oder bei einer
automatischen Verstärkungsregelung zur Anpassung der empfangenen Signale an den
10 Aussteuerbereich. Die Erfindung betrifft insbesondere den Betriebszustand der Empfangseinrichtung,
bei dem die Träger- und Phasenregelung des Lokalszillators noch nicht eingerastet sind.

Diese digitalen Signale, die auch als Symbole bezeichnet werden, stellen in codierter Form einen ein-
oder mehrstelligen Digitalwert dar. Die Codierung erfolgt für die Übertragung über das
15 Quadratursignalpaar, das einem Zeiger entspricht, der zu bestimmten Zeitpunkten diskrete
Positionen im Amplituden- und Phasenraum des Quadratursignalpaares einnimmt. Diese Zeitpunkte
folgen in äquidistanten Abständen aufeinander und müssen durch den Abtasttakt möglichst genau
getroffen werden. Die üblichen Abkürzungen für diese Übertragungsverfahren sind QAM
entsprechend „Quadrature Amplitude Modulation“ und PSK entsprechend „Phase Shift Keying“.

20

In einem üblichen Empfänger zum Empfang digitaler Signale mischt ein komplexer Multiplizierer
oder Mischer, der von einem Lokalszillator angesteuert wird, das empfangene, auf einen Träger
modulierte QAM-Signal frequenz- und phasenrichtig in das Basisband. Bei einer digitalen
Verarbeitung kann dies vor oder nach einer A/D-Umsetzung ($A/D = \text{Analog-Digital}$) erfolgen, wobei
25 das Signal zweckmäßigerweise mit dem Symboltakt oder einem Vielfachen davon abgetastet und
digitalisiert wird. Wenn der Digitalisierungstakt ein geradzahliges Vielfaches des Symboltaktes ist,
dann liegt der Symboltakt jeweils genau auf einem realen Abtastwert. Der Digitalisierungstakt ist
dabei zweckmäßigerweise mit dem rückgewonnenen Symboltakt über eine Phasenregelschleife
(=PLL) verkoppelt. Wenn der Digitalisierungstakt gegenüber dem erforderlichen Symboltakt
30 freilaufend ist, wird das Symbol letztendlich über eine rein digitale Abstratenwandlung als
Zeitinformation gebildet. Hierdurch wird eine zeitliche Interpolation zwischen den digitalisierten
Abtastwerten des digitalen Signals gesteuert. Verstärkungsregelungen sorgen dafür, daß der jeweilige
Aussteuerbereich ausgenutzt wird, und daß die empfangenen Symbole richtig auf die
Symbolentscheiderstufe abgebildet werden. Ein adaptiver Entzerrer (=Equalizer) vermindert die

Intersymbolinterferenz, die in linearen Verzerrungen des Senders, der Übertragungsstrecke oder des Empfängers ihren Ursprung haben.

- Bei hochwertigen Demodulatoren für QAM- oder PSK-Signale, die nach dem Stand der Technik arbeiten, betrachten die Regelschaltungen für die Frequenz- und Phasenregelung des Lokaloszillators, die Verstärkungsregelung, die Rückgewinnung des Symboltaktes und den adaptiven Entzerrer die Differenzen zwischen dem empfangenen Symbol und demjenigen Element des vorgegebenen Symbolalphabets, das von einer Entscheiderstufe als wahrscheinlichstes angesehen wird. Diese Art der Regelung über das entschiedene Symbol wird als „entscheidungsrückgekoppelte“
- 10 Regelung bezeichnet. Da bei den digitalen Demodulatoren nach dem Stand der Technik die entscheidungsrückgekoppelten Regelungen miteinander verkoppelt sind, ist das Einrasten schwierig, solange die Regelung für den Träger des Lokaloszillators, der das Empfangssignal in das Basisband mischt, frequenz- und phasenmäßig noch nicht stabil ist. Oft gelingt das Einrasten nur, wenn die jeweiligen Frequenzen und Phasen relativ dicht bei ihren Sollwerten liegen. Beispiele für
- 15 entscheidungsrückgekoppelte Regelungen finden sich in dem Grundlagenbuch: K.D. Kammeyer, „Nachrichtenübertragung“, Verlag B.G. Teubner, Stuttgart, 2. Auflage 1996, Seiten 429 bis 433, im Kapitel 5.7.3 „Adaptiver Entzerrer mit quantisierter Rückführung“, Seiten 200 bis 202, im Kapitel 5.8.3 „Entscheidungsrückgekoppelte Taktregelung“, Seiten 213 bis 215 und im Kapitel 12.2.2 „Entscheidungsrückgekoppelte Trägerphasenregelung im Basisband“, Seiten 429 bis 431.
- 20 Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren und eine zugehörige Einrichtung anzugeben, die in einer Empfangseinrichtung für digitale Signale entscheidungsrückgekoppelte Regelungen voneinander entkoppelt, wodurch ein rasches Einrastverhalten für den Abtasttakt, den Entzerrer oder die Verstärkung unabhängig von Frequenz und Phasenlage des Lokaloszillators
- 25 ermöglicht wird.

- Die Lösung der Aufgabe erfolgt gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 und 11, im wesentlichen dadurch, daß während der Einregelphase der entscheidungsrückgekoppelten Regelungen ein Hilfssymbol bereitgestellt wird, welches das entschiedene Symbol ersetzt. Für die
- 30 Bildung und Definition des Hilfssymbols wird die Radius- und Winkelinformation des empfangenen Signals bzw. des vorläufigen Symbols verwendet. Der Fehler bei der Angabe der Winkelinformation infolge der unbekannten Ablage der Frequenz und Phase des Lokaloszillators, wird bewußt ignoriert. Dies wird dadurch erreicht, daß ein Hilfssymbolentscheider dem empfangenen Signal nicht ein

Element aus dem vorgegebenen Symbolalphabet zuordnet, sondern statt dessen ein Hilfssymbol erzeugt, das auf einem der möglichen Sollradien liegt. Als Sollradien werden diejenigen Radien bezeichnet, auf denen bei QAM-Verfahren die Symbole des Alphabets in der vom Quadratursignalpaar aufgespannten Ebene liegen. Als Winkelkomponente des Hilfssymbols dient die

5 Winkelinformation des abgetasteten digitalen Signals. In Polarkoordinaten entspricht das Hilfssymbol somit dem Zeigerschnittpunkt des abgetasteten digitalen Signals mit dem wahrscheinlichsten Sollradius. Die Entscheidung, welcher Sollradius der wahrscheinlichste ist, erfolgt über Bereichsgrenzen, die sich im einfachsten Fall an den möglichen Radien des jeweiligen QAM-Standards orientieren, indem Grenzzadien definiert werden. Diese Grenzzadien bilden

10 unterschiedlich breite Kreisringe in der Quadratursignalebene, die jeweils einen Sollradius enthalten. Möglich ist auch, daß sich die Bereichsgrenzen nicht nur an den Sollradien orientieren, sondern auch noch die Lage der in Betracht zu ziehenden Elemente in der Quadratursignalebene berücksichtigen. In diesem Fall definieren die Bereichsgrenzen nicht mehr ideale Kreisringe, sondern verzerren diese mehr oder weniger. Das heißt aber, daß die jeweilige Winkelinformation die Hilfsentscheidung

15 beeinflusst, allerdings nur mit geringer Gewichtung. Außerdem können ganze Bereiche der Quadratursignalebene für die Hilfsentscheidung ausgeblendet werden, weil ihre Auswertung zu unsicher ist.

In einem vorausgehenden Schritt wird festgelegt, wo die einzelnen Sollradien und Bereichsgrenzen

20 liegen, damit der wahrscheinliche Sollradius ausgewählt werden kann. Für den Fall, daß die Entscheidung über den wahrscheinlichsten Sollradius durch reine Kreisringe erfolgt, werden Radiengrenzen festgelegt, die zweckmäßigerweise auf der Mitte zwischen zwei benachbarten Sollradien liegen. Ob die jeweiligen Radien- oder Bereichsgrenzen dabei aus einer Tabelle abgefragt werden oder ob sie entsprechend dem Übertragungsstandard laufend neu berechnet werden, ist von

25 untergeordneter Bedeutung.

Bei QAM-Verfahren höherer Ordnung können einige dieser Kreisringe so schmal sein, daß ihre Auswertung in Verbindung mit den üblichen Störungen unsicher ist. Da ihr Regelbeitrag andererseits gering ist, stört diese Unsicherheit kaum. Diese unsicheren Kreisringe lassen sich durch eine

30 geeignete Gewichtung der Regelinformation in ihrer Wirkung weiter reduzieren oder man blendet sie ganz aus. Weiterhin kann man auch Kreisringe zulassen, die den jeweiligen Sollradius enger umschließen und ihn so mit größerer Sicherheit erfassen. Liegt der gemessene Radius außerhalb dieser engeren Radiusgrenzen, dann wird kein Hilfssymbol gebildet, weil dies zu unsicher wäre.

Für ein empfangenes digitales Signal mit den Quadraturkomponenten $I = R \cos \alpha$ und $Q = R \sin \alpha$, das in einen Kreisring fällt, dessen Sollradius R_{si} ist, wird im Hilfssymbolentscheider auf der Position mit dem Sollradius R_{si} und dem Winkel α ein Hilfssymbol mit den Polarkoordinaten R_{si} , α gebildet. Damit dieses Hilfssymbol den entscheidungsrückgekoppelten Regelungen von
5 Taktrückgewinnung, Verstärkungsregelung oder Entzerrer als "entschiedenes Symbol" dienen kann, werden dessen Quadraturkomponenten $I_h = R_{si} \cos \alpha$ und $Q_h = R_{si} \sin \alpha$ gebildet.

Die Bestimmung des Radius R und des Winkels α aus den Quadraturkomponenten I , Q erfolgt
10 rechnerisch aus den Beziehungen:

$$R = \sqrt{I^2 + Q^2}$$
$$\alpha = \arctan(Q/I)$$

Es gibt auch Koordinatenumsetzer, die kartesische Koordinaten auf andere Weise in polare
15 Koordinaten umsetzen. Bei der digitalen Signalverarbeitung wird hierbei gern das „Cordic“-Verfahren angewendet, weil es für die Umwandlung nur Additionen und Zweier-Multiplikationen, die bei Binärzahlen durch einfache Stellenverschiebungen zu realisieren sind, verwendet. Weiterhin sind andere Näherungsverfahren oder Tabellen möglich. Die inverse Umsetzung, also die Umsetzung von polaren Signalkomponenten R und α in ihre Quadraturkomponenten $I = R \cos \alpha$, und $Q = R \sin \alpha$
20 kann ebenfalls mit einem Cordic-Umsetzer, einer Tabelle oder einem Näherungsverfahren erfolgen.

Die Erfindung und vorteilhafte Weiterbildungen werden nun anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert:

- Fig. 1 zeigt die Position der 16 Symbole in der I/Q-Quadraturebene bei einem 16 QAM-Signal,
25 Fig. 2. zeigt einen Nyquist-Impuls mit einer synchronisierten Abtastung,
Fig. 3 zeigt einen Nyquist-Impuls mit einer nichtsynchronisierten Abtastung,
Fig. 4. zeigt im ersten Quadranten die Positionen von 16 Symbolen eines 64 QAM-Signals,
Fig. 5 zeigt schematisch als Blockschaltbild ein erstes Ausführungsbeispiel eines Demodulators mit einem Hilfssymbolerzeuger nach der Erfindung und
30 Fig. 6 zeigt schematisch als Blockschaltbild ein zweites Ausführungsbeispiel eines Demodulators mit einem Hilfssymbolerzeuger nach der Erfindung.

In Fig. 1 wird von einem Quadratursignalpaar I, Q eine Ebene aufgespannt, in der die Positionen der 16 Symbole $S_{m,n}$ eines 16 QAM-Signals eingezeichnet sind. Die Bezeichnungen der einzelnen Symbole $S_{m,n}$ unterscheiden sich durch die Angaben der jeweiligen kartesischen Koordinaten. So hat beispielsweise das Symbol $S_{-3,1}$ als I-Koordinate den Wert -3 und als Q-Koordinate den Wert 1 . Das Diagramm enthält auch die Kreise K_1 , K_2 und K_3 , auf denen die Symbole $S_{m,n}$ liegen. Den Kreisen sind die vom Koordinatenursprung aus gerechneten Radiuswerte $R_1 = 1,41$; $R_2 = 3,16$ und $R_3 = 4,24$ zugeordnet. Zur Definition der Symbole $S_{m,n}$ über ihre Polarkoordinaten R , α sind die jeweiligen Winkelkomponenten α erforderlich, die beispielsweise für die Symbole $S_{3,1}$; $S_{3,3}$ und $S_{1,1}$; $S_{1,3}$ die Winkel $\alpha = 18,3^\circ$ bzw. $\alpha = 45^\circ$ bzw. $\alpha = 71,7^\circ$ betragen. Die Kreise und zugehörigen Radien, auf denen nach dem jeweiligen Übertragungsstandard die Symbole $S_{m,n}$ liegen, werden im nachfolgenden Text als Sollkreise bzw. Sollradien R_s bezeichnet. Um die Schreibung zu vereinfachen, wird ferner nachfolgend auf die Index-Schreibweise der Bezeichnungen und Bezugszeichen verzichtet.

In Fig. 2 und Fig. 3 wird jeweils das Signal s eines einzelnen Nyquist-Impulses s_n dargestellt. Die durchgehende Linie zeigt den analogen Verlauf des digitalen Signals, das als kontinuierliches Signal übertragen wird. Das typische an dem Nyquist-Impuls s_n ist, daß das Signal zu allen Symbolabtastzeitpunkten $t/T = \pm n$ durch den Wert Null geht und nur bei dem Symbolabtastzeitpunkt $t/T = 0$ einen von Null abweichenden Wert aufweist, nämlich den eigentlichen Symbolwert S . Wird das analoge Signal s bzw. der Nyquist-Impuls s_n wie in Fig. 2 mit einem ganzzahligen Vielfachen des Symbolabtasttaktes t_s und synchron dazu abgetastet und digitalisiert, dann liefert genau der Abtastwert zum Zeitpunkt $t/T = 0$ den digitalen Symbolzustand. Die Abtastwerte zwischen den Symbolabtastwerten $t/T = \pm n$, beispielsweise bei $t/T = -0,5$ oder $t/T = 1,5$, spielen für die Symbolerkennung keine Rolle und können ausgeblendet werden.

Anders ist es bei dem nach Fig. 3 abgetasteten und digitalisierten Nyquist-Impuls s_n . Hier ist der Abtast- und Digitalisierungstakt t_d gegenüber dem Symbolabtastzeitpunkt t_s weder in der Frequenz noch in der Phase synchronisiert. Die Abtastwerte t_d für die Digitalisierung fallen somit allenfalls zufällig mit einem der regulären Symbolabtastzeitpunkte t_s zusammen. Die zuverlässige Erfassung des digitalen Symbolzustandes zum Zeitpunkt $t/T = 0$ ist somit durch die vorhandenen Abtastwerte nicht ohne weiteres möglich. Hier sind Abtasteinrichtungen für die Symbole erforderlich, die eine zeitliche Interpolation der realen Abtastwerte durchführen, um rechnerisch möglichst genau den Abtastwert zum Zeitpunkt $t/T = 0$ zu ermitteln. Wegen des relativ schmalen Nyquist-Impulses, der bei

$t/T = -1$ und $t/T = +1$ die ersten Nulldurchgänge aufweist, sind Interpolationsverfahren höherer Ordnung ratsam, damit die Impulsspitze S bei $t/T=0$ gut erfaßt wird. Die kleinen runden Kreise entsprechen in Fig. 2 und Fig. 3 den realen Abtastwerten. Die kleinen Quadrate in Fig. 3 entsprechen interpolierten Abtastwerten, die für die weitere Verarbeitung als Daten zur Verfügung stehen. Bei
5 der Übertragung eines digitalen Datenstromes werden die einzelnen Nyquist-Impulse s_n taktweise einander überlagert und als I- und Q-Komponenten übertragen.

Fig. 4 zeigt in der I/Q-Ebene die 16 Positionen der Symbole $S_{m,n}$ eines 64 QAM-Signals im ersten Quadranten. Für den Einrastvorgang gemäß der Erfindung ist es zunächst unerheblich, in welchem
10 Quadranten die 64 Elemente $S_{m,n}$ des Symbolalphabets liegen. Zur Verdeutlichung sind beim Symbol $S_{7,7}$ die Symbole $S_{-7,7}$; $S_{-7,-7}$ und $S_{7,-7}$ der drei anderen Quadranten in Klammer ergänzt. Das Diagramm von Fig. 4 zeigt zu den einzelnen Symbolen $S_{m,n}$ das kartesische Koordinatennetz, das durch die beiden Quadratursignalkomponenten I, Q aufgespannt wird. Die Gitternetzlinien sind durch eine von 0 bis 8 laufende Skalierung auf den beiden Koordinatenachsen I, Q definiert.

15 In dem Diagramm von Fig. 4 sind ferner die Sollkreisbögen R_s eingezeichnet, die zum ersten Quadranten gehören und genau durch die Symbole $S_{m,n}$ gehen. Für die 16 Symbole im ersten Quadranten und damit für alle 64 Symbole des QAM-Signals gibt es 9 Sollkreisbögen R_{s1} bis R_{s9} , die als durchgehende Linien gezeichnet sind. Zu jedem Sollkreisbogen gehört ein Sollradius R_{si} , weshalb in Fig. 4 als Bezugszeichen für die Sollkreisbögen die Sollradien R_{s1} bis R_{s9} verwendet
20 werden. Drei Kreisbögen schneiden dabei jeweils nur ein Element $S_{m,n}$ im ersten Quadranten. Der Kreisbogen R_{s1} das Symbol $S_{1,1}$, der Kreisbogen R_{s3} das Symbol $S_{2,2}$ und der äußerste Kreisbogen R_{s9} das Element $S_{7,7}$. Alle anderen Kreisbögen schneiden zwei Symbole, bis auf den Kreisbogen R_{s6} , der drei Symbole schneidet.

25 Als gestrichelte Linien sind in Fig. 4 ferner diejenigen Kreisbögen eingezeichnet, die genau mittig zwischen zwei Sollkreisbögen R_s liegen. Die Bezugszeichen dieser Kreisbögen laufen von R_{g1} bis R_{g8} . Wenn bei einem empfangenen Symbol S , das infolge von Störungen oder nicht eingerasteten Regelkreisen von dem vorgegeben Symbolalphabet $S_{m,n}$ abweicht, ein anderer Radius R gemessen
30 wird, dann entsprechen die gestrichelt dargestellten Kreisbögen Grenzlinien, die den wahrscheinlichsten Sollradius R_s einschließen. Daher werden die Radien dieser Bereichsgrenzen im weiteren Text als Grenzradien R_g bezeichnet. Die Definition der Mitte zwischen zwei Sollkreisbögen als Grenzradius ist einfach aber nicht zwingend. So können die jeweiligen Grenzradien aus der Mitte

in beiden Richtungen verschoben sein, wie die strichpunktierten Kreisbögen in Fig. 4 zeigen. Der Grenzradius R_{g1} vergrößert beispielsweise den Erfassungsbereich um den Sollradius R_{s1} . Wird der Grenzradius R_{g2} durch die beiden Grenzradien R_{s2+} und R_{s3-} ersetzt, dann wird dazwischen ein gestrichelt gezeichneter Kreisring ausgespart, in dem eine Entscheidung über den wahrscheinlichsten Sollradius unterdrückt wird. Die Grenzradien R_{s3-} und R_{s3+} engen den Auswertebereich für den Sollradius R_{s3} ein, wodurch die Anzahl der Fehlentscheidungen reduziert wird. Zwischen dem dritten und vierten Sollradius R_{s3} und R_{s4} ist als Beispiel nochmals ein schmaler Ausblendbereich gestrichelt dargestellt, der zwischen dem Grenzradius R_{s3+} und dem mittig liegendem Grenzradius R_{g3} liegt.

10

Die Sollradien R_{s6} und R_{s7} unterscheiden sich nur wenig von einander. Unter Umständen ist es sinnvoll, diese unsicheren Bereiche von der Entscheidung, welches der wahrscheinlichste Sollradius ist, auszublenden. Dieser Bereich könnte beispielsweise durch die Grenzradien R_{g5} und R_{g7} definiert sein.

15

Erfolgt die Auswahl des wahrscheinlichsten Sollradius R_{si} nicht allein über den Radius R sondern auch noch über den Winkel α , dann sind die Bereichsgrenzen keine reinen Kreisbögen mehr sondern verformen sich mehr oder weniger. In der Nähe eines zu erwartenden Symbols $S_{m,n}$ nehmen die Bereiche zu und wenn das mögliche Symbol $S_{m,n}$ winkelmäßig relativ weit entfernt ist, nehmen die Bereiche entsprechend ab.

20

Als Beispiel zeigt Fig. 4 die Bildung eines Hilfssymbols Sh aus einem empfangenen Signal s bzw. einem vorläufigen Symbol S . Dieses Symbol S hat die Radius- und Winkelkomponente R und α . Das vorläufige Symbol S liegt innerhalb der Bereichsgrenzen R_{g5} und R_{g6} . Der wahrscheinlichste Sollradius R_{si} , der dem Symbol S zukommt, ist somit der Sollradius R_{s6} . Nun wird die Position des Hilfssymbols Sh definiert, indem der wahrscheinlichste Sollradius R_{s6} und die vorhandene Winkelkomponente α genommen wird. Die Polarkoordinaten R_{s6} und α des Hilfssymbols Sh können mit Hilfe des kartesischen Gitterrasters oder über eine geeignete Transformation in Komponenten des Quadratsignals I, Q umgesetzt werden. Das Hilfssymbol Sh entspricht somit bis auf die Winkelkomponente α den Symbolen $S_{1,7}$, $S_{5,5}$ oder $S_{7,1}$, die alle auf dem gleichen Sollradius R_{s6} liegen. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu üblichen Symbolentscheidern, die im wesentlichen eine Abstandsentscheidung durchführen. Das vorläufige Symbol S wäre bei derartigen

25

30

Abstandsentscheidern dem Symbol S7,3 oder allenfalls noch dem Symbol S5,3 zugeordnet worden, die beide näher als die Symbole auf den Sollkreis Rs6 liegen.

Fig. 5 zeigt schematisch als Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen

- 5 Demodulators 1 für den Empfang von digitalen Signalen s mit einem Hilfssymbolerzeuger. Eine Signalquelle 2, beispielsweise ein Tuner, liefert das digitale Signal s in einer bandbegrenzten Zwischenfrequenzlage. Dort wird es mittels eines A/D-Umsetzers 3 abgetastet und digitalisiert. Den festen Digitalisierungstakt t_d liefert ein Taktgenerator 4. In der Regel ist der Digitalisierungstakt t_d mit dem Systemtakt für den gesamten Demodulator 1 identisch. Das Ausgangssignal des A/D-
- 10 Umsetzers 3 ist ein digitalisiertes Signal s_d , das einem Bandpass 5 zugeführt ist, der es von Gleichanteilen und störenden Oberwellen befreit. An den Bandpass 5 ist ein Quadraturumsetzer 6 angeschlossen, der das digitale Signal s bzw. das digitalisierte Signal s_d in das Basisband umsetzt und es in die beiden Quadratursignalkomponenten I, Q aufspaltet. Zur Frequenzumsetzung ist der Quadraturumsetzer 6 mit zwei um 90 Grad versetzten Trägern aus einem lokalen Oszillator 7
- 15 gespeist, dessen Frequenz und Phase durch eine Trägerregelvorrichtung 8 gesteuert wird. Vor der weiteren Verarbeitung wird das Quadratursignalpaar I, Q mittels eines Tiefpasses 9 von störenden Oberwellen befreit. Das gefilterte Quadratursignalpaar I, Q wird dann einer Symbol-
- 20 Abtasteinrichtung 10 zugeführt, die von einer Abtastregelvorrichtung 11 gesteuert ist, die die Symbolabtastzeitpunkte t_s definiert. Die Symbolabtastzeitpunkte t_s orientieren sich im normalen Betriebszustand dabei an der Symbolrate $1/T$ und der genauen Phasenlage des empfangenen digitalen Signals s. Weil der Digitalisierungstakt t_d gegenüber der Symbolrate $1/T$ nicht synchronisiert ist, erfolgt in der Abtasteinrichtung 10 eine zeitliche Interpolation zwischen den realen Abtastwerten auf der Symbolrate oder einem ganzzahligen Vielfach davon, vergleiche hierzu auch Fig. 3.
- 25 Das Ausgangssignal der Abtasteinrichtung 10 wird mittels eines Tiefpasses 35 mit einer Nyquist-Charakteristik gefiltert und einer rückgekoppelten Verstärkungsregelvorrichtung 12 zugeführt. Deren Steuerung erfolgt durch eine Verstärkungs-Regelvorrichtung 13. Die Verstärkungsregelung 12 ist erforderlich, damit der Aussteuerbereich des Entscheiders 15 richtig ausgenutzt wird. Nach dem Entzerrer 14 sind die beiden Komponenten des Quadratursignalpaares I, Q von störenden
- 30 Verzerrungen befreit und stehen nun als vorläufiges Symbol S zur Verfügung. Aus den vorläufigen Symbolen S werden dann mittels eines Symbolentscheiders 15 „entschiedene Symbole“ S_e gebildet, die weiteren digitalen Signalverarbeitungseinrichtungen 16 und den entscheidungsrückgekoppelten Regelkreisen 8, 11, 13, 14 im Demodulator 1 direkt oder über einen Multiplexer 18 zugeführt

werden. Da für den Regelvorgang in der Trägerregeleinrichtung 8 auch zunächst nicht auf eine Winkelkomponente α verzichtet werden kann, ist die Regeleinrichtung 8 nicht wie die anderen Regelkreise 11, 13, 14 an den Multiplexer 18 angeschlossen.

- 5 Die Erzeugung des Hilfssymbols Sh erfolgt durch einen Hilfssymbolentscheider 17. Der Hilfssymbolentscheider 17 enthält in seinem Eingang einen Koordinatenumsetzer 20, der aus dem abgetasteten Quadratsignalpaar I, Q bzw. dem vorläufigen Symbol S die zugehörigen Polarkoordinaten R und α bildet. Ein Radiusentscheider 21 entscheidet dann aus den Polarkoordinaten R, α , insbesondere aus der Radiuskomponente R , welches der wahrscheinlichste
- 10 Sollradius R_{si} ist. Die Grenzzahlen R_g und die zugehörigen Sollradien R_s werden dabei zweckmäßigerweise aus einer Tabelle 22 abgefragt. Das Ergebnis der Radiusentscheidung ist der wahrscheinlichste Sollradius R_{si} , der in Verbindung mit der Winkelkomponente α einem inversen Koordinatenumsetzer 23 zugeführt wird, der aus den polaren Komponenten R_{si}, α des Hilfssymbols Sh die Quadraturkomponenten I_h, Q_h bildet. Die Quadraturkomponenten sind einem Eingang des
- 15 Multiplexers 18 zugeführt, dessen anderer Eingang mit den Quadraturkomponenten des entschiedenen Symbols S_e gespeist ist. Den Regeleinrichtungen 11 und 13 und dem Entzerrer 14 kann in der Einregelphase somit das relativ zuverlässige Hilfssymbol Sh statt des unsicheren, entschiedenen Symbols S_e zugeführt werden.
- 20 Das Blockschaltbild von Fig. 6 zeigt das Blockschaltbild eines anderen Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Demodulators $1'$ für den Empfang von digitalen Signalen s mit einem Hilfssymbolerzeuger 17 wie in Fig. 5. Der Demodulator $1'$ zeigt alternativ zur Abtastung und Digitalisierung mit einem festen Digitalisierungstakt td gemäß Fig. 5 einen in der Frequenz und Phase geregelten Abtast- und Digitalisierungstakt td' aus einem regelbaren Oszillator $4'$. Durch eine
- 25 Regeleinrichtung 40 wird dabei der Digitalisierungstaktes td' phasengenau auf den Symboltakt $1/T$ oder ein Vielfaches davon synchronisiert, vergleiche hierzu auch Fig. 2. Die spätere Interpolation in der Abtasteinrichtung 10 von Fig. 5 kann damit entfallen. Weiterhin kann die Abtasteinrichtung 10 als eigene Funktionseinheit sogar selbst entfallen, da ihre Funktion von dem Entzerrer 14, der auf der Symbolrate $1/T$ arbeitet, automatisch mitübernommen wird. Der Tiefpaß 9 nach dem
- 30 Quadraturumsetzer 6 ist ebenfalls nicht mehr erforderlich. Seine begrenzende Wirkung übernimmt der Tiefpaß 35 mit der Nyquist-Charakteristik.

Zur Steuerung der Regeleinrichtung 40 wird deren Steuereingängen das vorläufige Symbol S und im Anlauffall das Hilfssymbol Sh zugeführt. Wenn der resultierende Digitalisierungstakt td' genau genug mit der Symbolrate $1/T$ synchronisiert ist, wird wie bei den Regelkreisen 13 und 14 mittels des Multiplexers 18 vom Hilfssymbol Sh auf das entschiedene Symbol Se umgeschaltet.

5

Bis auf die beschriebenen Unterschiede ist das Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 identisch zum Ausführungsbeispiel von Fig. 5. In beiden Schaltbildern sind daher einander entsprechende Funktionseinheiten mit den gleichen Bezugszeichen versehen, so daß sich eine nochmalige Erörterung erübrigt.

10

Die Schnittstelle 3 für die Digitalisierung in Fig. 5 und Fig. 6 kann auch nach dem Quadraturumsetzer 6 folgen, beispielsweise wenn die Zwischenfrequenzlage nach der Signalquelle 2 zu hoch ist. Die Funktion des Hilfssymbols Sh und dessen Erzeugung ist davon nicht direkt betroffen. Allerdings können sich durch die zum Teil analogen Signalpfade Fehler und

15 Unsymmetrien, insbesondere bei den Quadraturkomponenten I, Q, einschleichen, die sich durch den Entzerrer 14 kaum mehr beseitigen lassen und so die Unsicherheit in der Symbolerkennung erhöhen.

20

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines Hilfssymbols (S_h) beim Empfang eines digitalen Signals (s), das an ein Quadratursignalpaar (I, Q) gekoppelt ist, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

5

a) entsprechend vorgegebenen Positionen ($S_{m,n}$) des digitalen Signals (s) in der vom Quadratursignalpaar (I, Q) aufgespannten Ebene werden Sollradien (R_s) und Bereichsgrenzen, insbesondere Radiengrenzen (R_g), bestimmt.

10

b) mittels einer von Symbolabtastzeitpunkten (t_s) abhängigen Abtasteinrichtung (10; 14) werden vorläufige Symbole (S) aus dem digitalen Signal (s) bestimmt,

c) die polaren Koordinaten (R, α), des vorläufigen Symbols (S) werden ermittelt,

15

d) aus den polaren Koordinaten (R, α), insbesondere der Radiuskomponente (R), wird entsprechend den Bereichsgrenzen ein zugehöriger Sollradius (R_{si}) bestimmt und

e) der zugehörige Sollradius (R_{si}) und die Winkelkomponente (α) definieren die Polarkoordinaten des Hilfssymbols (S_h) in der Ebene des Quadratursignalpaares (I, Q).

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarkoordinaten (R_{si}, α) des Hilfssymbols (S_h) in ein kartesisches Koordinatensystem umgesetzt werden, das von dem Quadratursignalpaar (I, Q) aufgespannt wird.

25

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das digitale Signal (s) ein digitalisiertes Signal (sd) ist, das mittels einer mit einem Digitalisierungstakt (td) gekoppelten Abtast-und-Digitalisierungseinrichtung (3) digitalisiert ist, wobei in der Abtasteinrichtung (10) entsprechend dem jeweiligen Symbolabtastzeitpunkt (t_s) zur Bildung des vorläufigen Symbols (S) eine zeitliche Interpolation des digitalisierten Signals (sd) stattfindet, wenn der Digitalisierungstakt (td) und die Symbolabtastzeitpunkte (t_s) in der Frequenz und/oder Phase voneinander unabhängig sind.

30

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das digitale Signal (s) ein digitalisiertes Signal (sd) ist, das mittels einer mit einem Digitalisierungstakt (td') gekoppelten Abtast-und-Digitalisierungseinrichtung (3) digitalisiert ist, wobei in einer der nachfolgenden Einrichtungen (10; 14) aus dem digitalisierten Signal (sd) derjenige Datenwert für die Bildung des vorläufigen Symbols (S) entnommen wird, der dem jeweiligen Symbolabtastzeitpunkt (ts) entspricht, wenn der Digitalisierungstakt (td) und die Symbolabtastzeitpunkte (ts) in der Frequenz und/oder Phase voneinander abhängig sind.
- 5
- 10 5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nur eine Auswahl der Sollradien (Rs) für die Erzeugung des Hilfssymbols (Sh) zur Verfügung steht.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß mit den Sollradien (Rs) Gewichtungsfaktoren verknüpft sind.
- 15
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Bereichsgrenzen durch eine Radiengrenze (Rgi; Rgi'; Rsi+; Rsi-) definiert ist.
- 20
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Radiengrenzen (Rgi'; Rsi+; Rsi-) nicht mittig zu den benachbarten Sollradien (Rs) liegt.
- 25
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereichsgrenzen zwischen zwei benachbarten Sollradien (Rs) so definiert sind, daß ein Teil des Bereiches zwischen den zwei benachbarten Sollradien (Rs) für die Erzeugung des Hilfssymbols (Sh) ausgeblendet wird.
- 30
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß für den Einrastvorgang entscheidungsrückgekoppelter Regelkreise (11, 13, 14; 40, 13, 14) beim Empfang des digitalen Signals (s) ein entschiedenes Symbol (Se) durch das Hilfssymbol (Sh) ersetzt wird.

11. Schaltungsanordnung zur Erzeugung eines Hilfssymbols (S_h) aus einem vorläufigen Symbol (S) in einer Einrichtung ($1; 1'$) für den Empfang eines digitalen Signals (s), das an ein Quadratursignalpaar (I, Q) gekoppelt ist, mit
- 5
- einem Koordinatenumsetzer (20), der die kartesischen Quadratursignalkomponenten (I, Q) des vorläufigen Symbols (S) in polare Koordinaten (R, α) umsetzt, und
 - einem Radiusentscheider (21), der aus den Polarkoordinaten (R, α) des vorläufigen Symbols (S)
- 10 einen wahrscheinlichsten Sollradius (R_{si}) bestimmt, der in Verbindung mit der Winkelkomponente (α) des vorläufigen Symbols (S) die polaren Koordinaten (R_{si}, α) des Hilfssymbols (S_h) definiert.
- 15 12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer Koordinatenumsetzer (23) die polaren Koordinaten (R_{si}, α) des Hilfssymbols (S_h) in kartesische Koordinaten (I_h, Q_h) in der von Quadratursignalpaar (I, Q) aufgespannten Ebene umsetzt.
- 20 13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfssymbol (S_h) als ein entschiedenes Symbol (S_e) zur Steuerung mindestens eines entscheidungsrückgekoppelten Regelkreises (11, 13, 14; 40, 13, 14) in der Einrichtung ($1; 1'$) dient.
- 25 14. Schaltungsanordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfssymbol (S_h) dem mindestens einen entscheidungsrückgekoppelten Regelkreis (11, 13, 14; 40, 13, 14) während des Einregelvorganges über einen von einer Steuereinrichtung (19) gesteuerten Multiplexer (18) zugeführt ist.
- 30 15. Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Multiplexer (19) am anderen Signaleingang an einen Symbolentscheider (15) für entschiedene Symbole (S_e) angeschlossen ist und daß die von einer Steuereinrichtung (19) gesteuerte Umschaltung des

Multiplexers vom Hilfssymbol (Sh) auf ein entschiedenes Symbol (Se) dann erfolgt, wenn das entschiedene Symbol (Se) sicher innerhalb des Fangbereiches des jeweiligen entscheidungsrückgekoppelten Regelkreises (11, 13, 14; 40, 13, 14) liegt.

5

16. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (1; 1') ein Demodulator ist, dem das digitale Signal (s) eingangsseitig zugeführt ist und der ausgangsseitig die entschiedenen Symbole (Se) als ein Datenstrom liefert.

Zusammenfassung

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Erzeugung eines Hilfssymbols (Sh) beim Empfang eines digitalen Signals (s), das an ein Quadratursignalpaar (I, Q) gekoppelt ist, wobei das Verfahren
5 folgende Schritte aufweist: Entsprechend vorgegebenen Positionen (Sm,n) des digitalen Signals (s) in der vom Quadratursignalpaar (I, Q) aufgespannten Ebene werden Sollradien (Rs) und Bereichsgrenzen, insbesondere Radiengrenzen (Rg), bestimmt. Mittels einer von Symbolabtastzeitpunkten (tS) abhängigen Abtasteinrichtung (10; 14) werden vorläufige Symbole (S) aus dem digitalen Signal (s) und deren polaren Koordinaten (R, α) ermittelt. Aus den polaren
10 Koordinaten (R, α), insbesondere der Radiuskomponente (R), wird ein zugehöriger Sollradius (Rsi) bestimmt, der in Verbindung mit der Winkelkomponente (α) des vorläufigen Symbols (S) die Polarkoordinaten des Hilfssymbols (Sh) in der Ebene des Quadratursignalpaares (I, Q) bestimmt. Dieses Hilfssymbol (Sh) ersetzt während der Einregelphase das entschiedene Symbol (Se) bei mindestens einer entscheidungsrückgekoppelten Regelung (11, 13, 14; 40, 13, 14).

15

(zur Zusammenfassung Fig. 4)

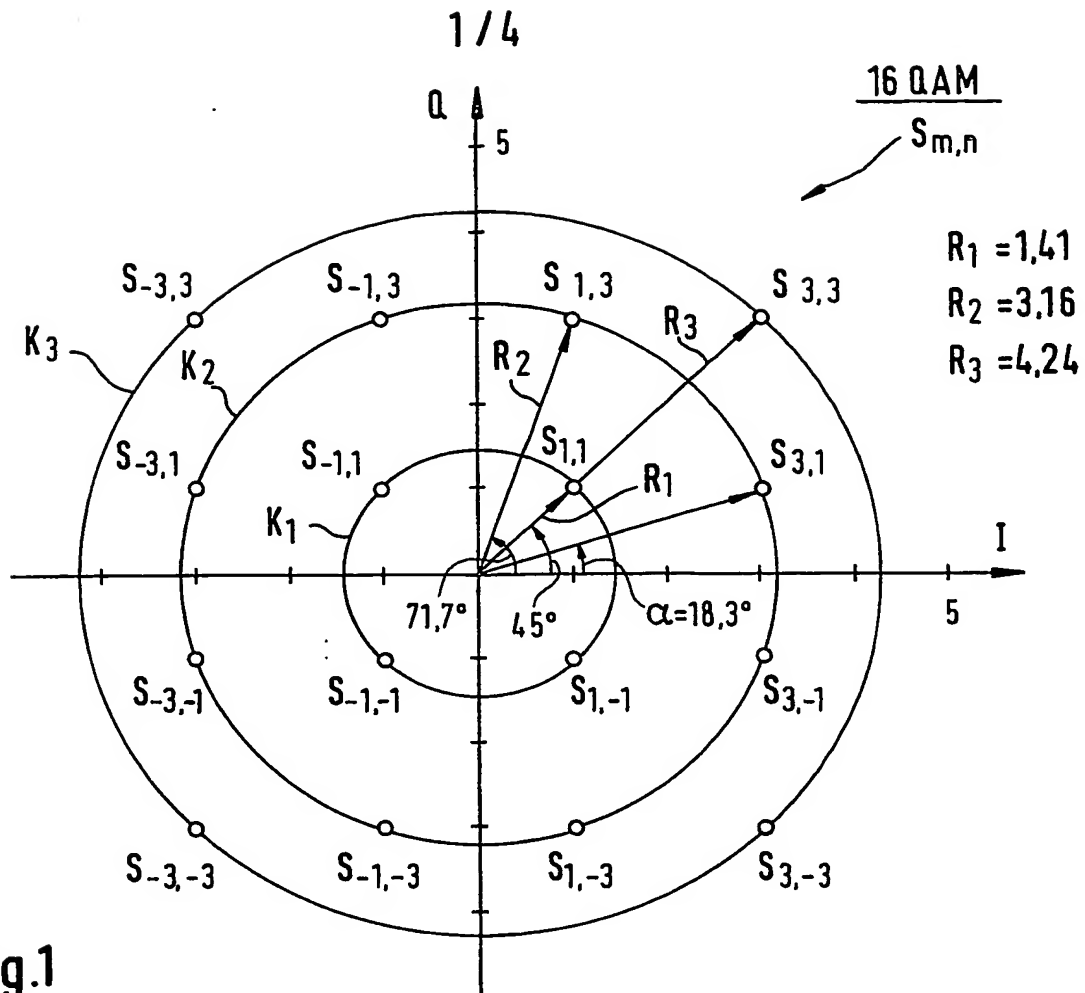


Fig.1

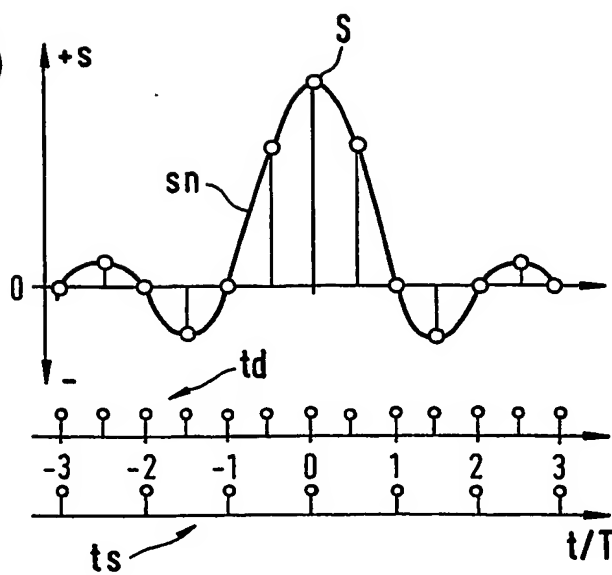


Fig.2

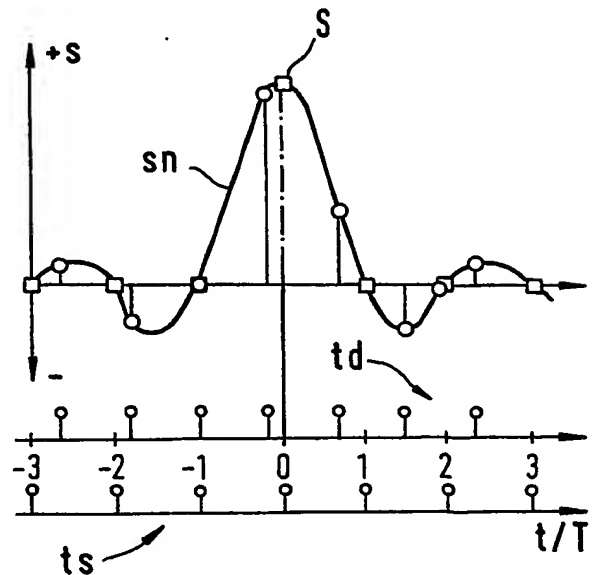


Fig.3

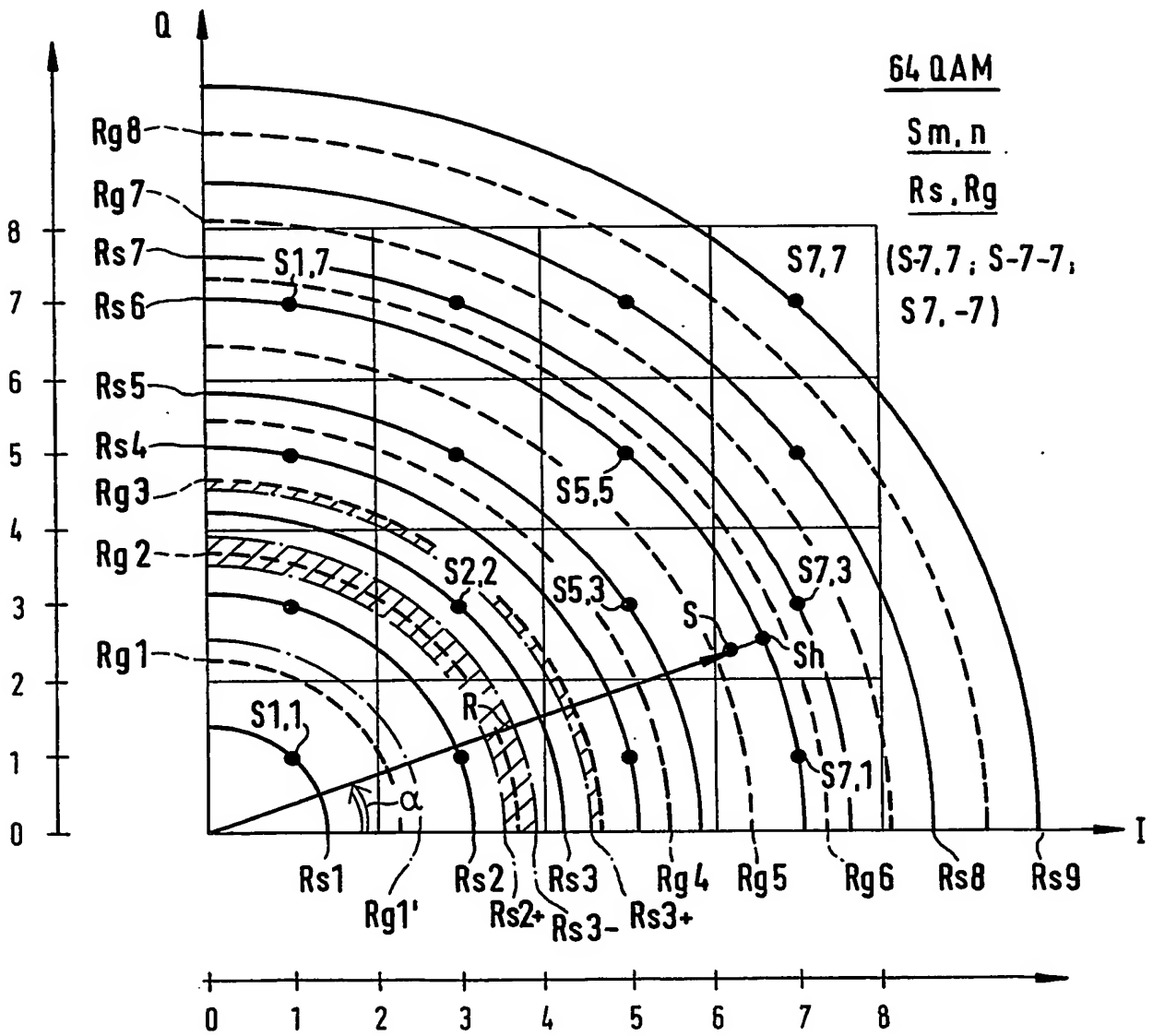


Fig.4

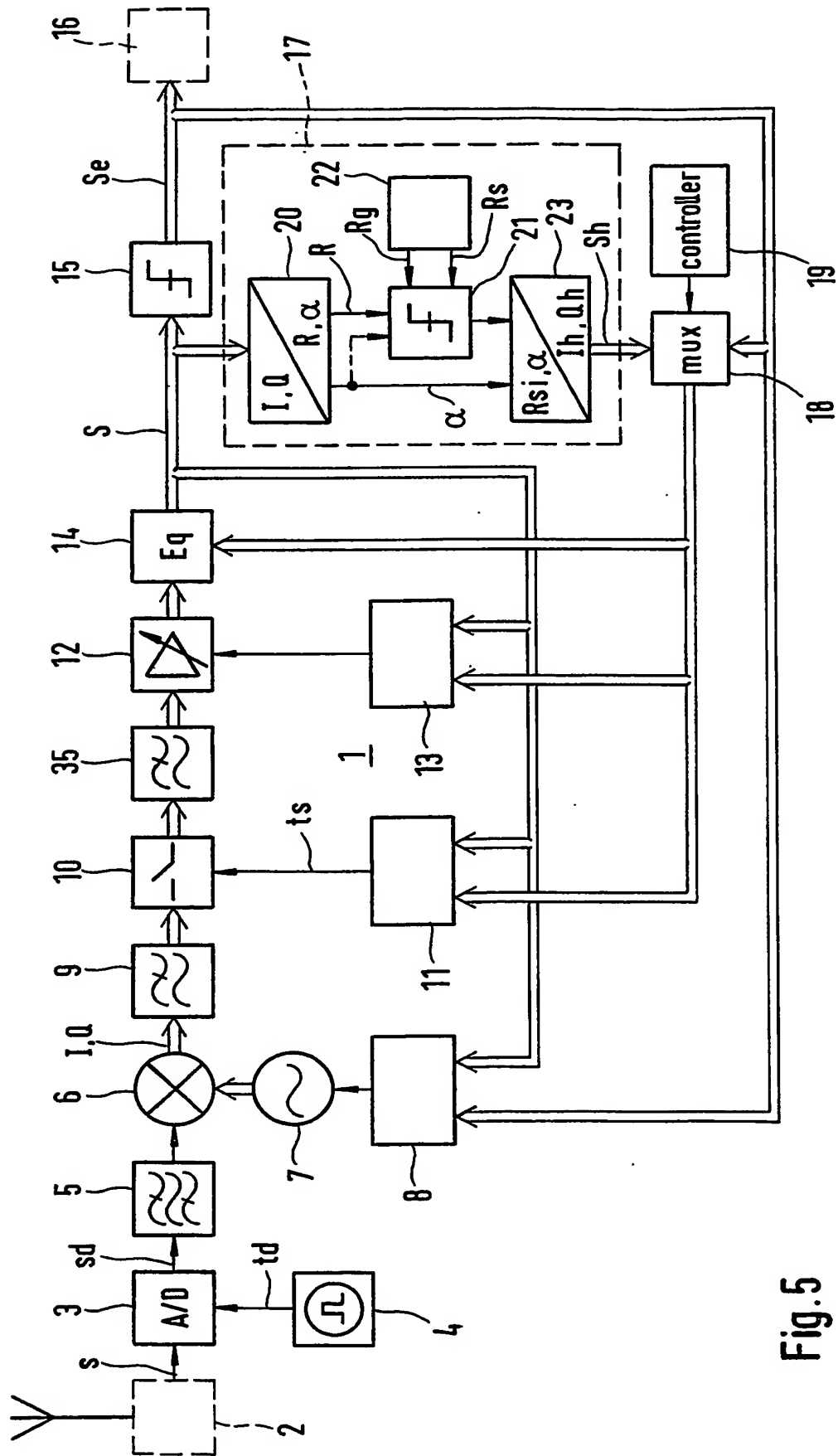


Fig. 5

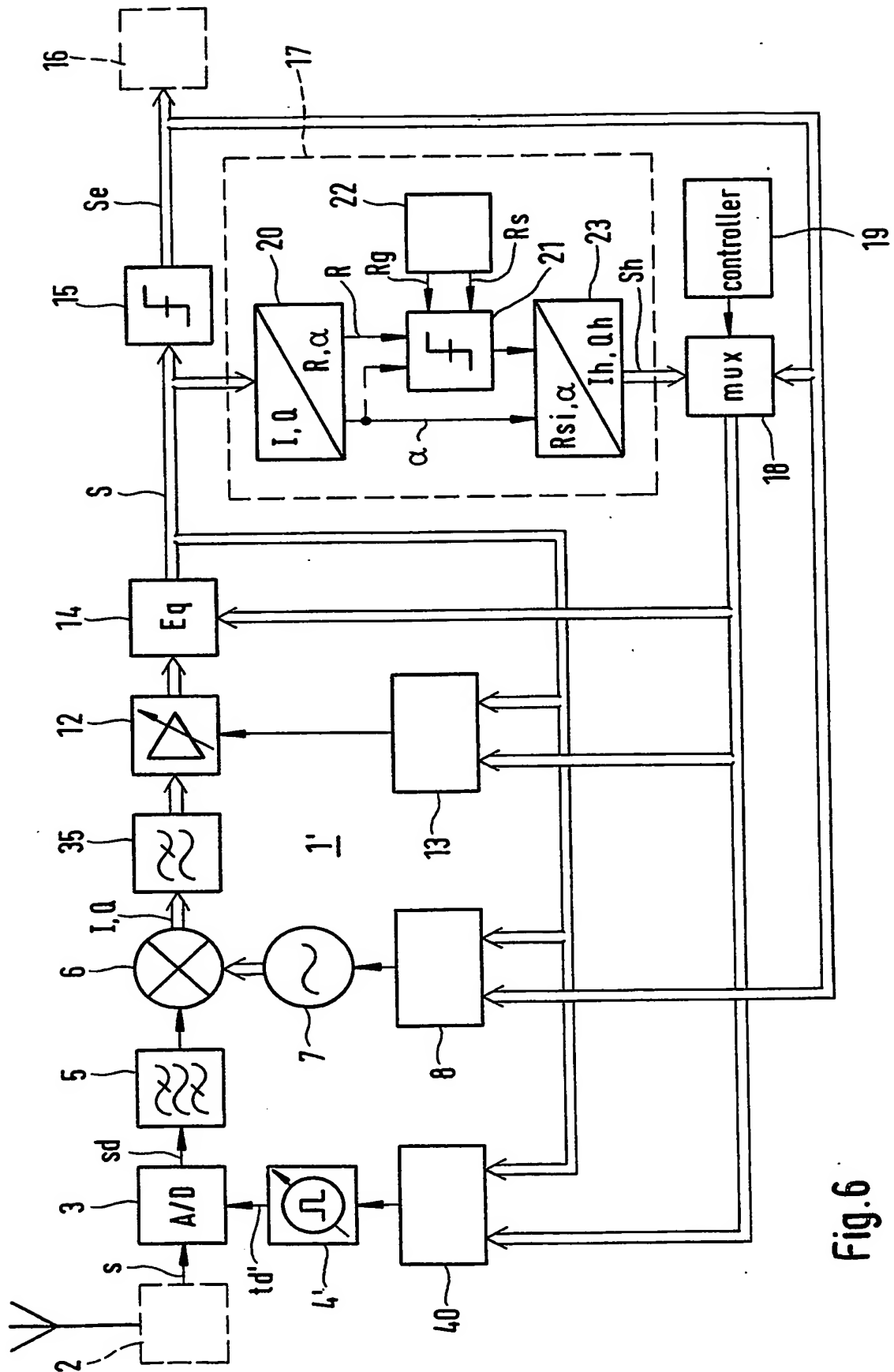


Fig. 6